

Poznajemy właściwości tarcia. Część I: Od czego zależy siła tarcia między ciałami stałymi?

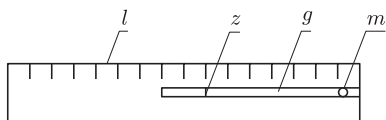


Stanisław BEDNAREK

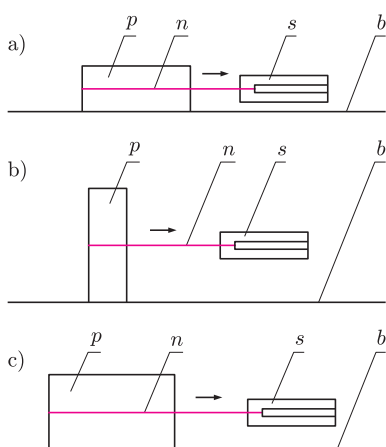
W proponowanych dzisiaj i w najbliższych trzech miesiącach doświadczeniach zajmiemy się zjawiskiem tarcia. Zjawisko to powszechnie występuje w naszym otoczeniu. Żeby je sobie lepiej uświadomić, na początek podamy lub przypomnimy pierwszą zasadę dynamiki, sformułowaną przez Newtona. Stwierdza ona, że ciało, na które nie działa żadna siła lub działające na nie siły równoważą się, pozostaje w spoczynku albo porusza się ruchem jednostajnym po linii prostej. Codzienne obserwacje zdają się przeczyć tej zasadzie. Na przykład, kiedy wprawimy w ruch klocek leżący na poziomo ustawionym stole, to zauważymy, że po pewnym czasie on się zatrzyma. Dlaczego tak się dzieje?

Wiemy, że na ten klocek działają ciężar i siła reakcji stołu. Obie siły mają równe wartości, działają w tym samym kierunku pionowym, mają przeciwny zwrot i przyłożone są do tego samego ciała. Siły te równoważą się. Skoro jednak klocek zatrzymuje się, to musi na niego działać jakaś siła w kierunku poziomym, skierowana przeciwnie do kierunku jego ruchu. To właśnie jest siła tarcia, która bywa też nazywana oporem ruchu. Określenie „opór ruchu” oznacza, iż tarcie wyhamowuje już poruszające się ciała oraz utrudnia wprawienie w ruch ciała spoczywającego. W pierwszym przypadku mówimy o tarcu kinetycznym (czyli w ruchu), a w drugim o tarcu statycznym (czyli w spoczynku).

Przejdźmy teraz do doświadczeń, w których poznamy podstawowe właściwości tarcia, występującego między ciałami stałymi. Celem dzisiejszych doświadczeń będzie zbadanie, od czego zależy wartość siły tarcia. Do ich wykonania będą potrzebne: kilka pustych, niewielkich kartoników po mleku lub innych napojach (najlepiej o pojemności około 0,2–0,5 l), piasek, linijka, mocna nitka, dość gruba gumka aptekarska, klej szybkowiązący, taśma klejąca, arkusz papieru ściernego, kawałek gładkiego kartonu, cienkopis, nożyczki oraz kawałek szyby, np. szklana półka z lodówki.



Rys. 1. Sposób wykonania siłomierza;
l – linijka, g – przycięta gumka aptekarska, z – kreska na gumce, m – miejsce przyklejenia gumki do linijki.

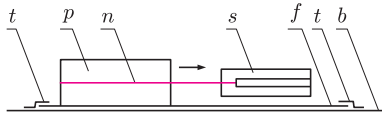


Rys. 2. Układy do badania zależności siły tarcia od wielkości trących się powierzchni: a) powierzchnie największe, b) powierzchnie najmniejsze, c) powierzchnie średnie; s – siłomierz, p – kartonik od napoju wypełniony piaskiem, n – nitka, b – powierzchnia stołu.

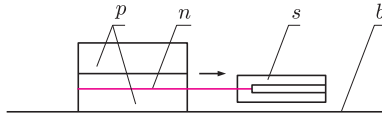
Na początek wykonamy bardzo prosty siłomierz (rys. 1). Z gumki aptekarskiej odcinamy nożyczkami kilkucentymetrowy kawałek i układamy go w stanie wyprostowanym, ale nierozciągniętym, na linijce wzdłuż jej skali. Jeden koniec gumki powinien znajdować się tuż przed początkiem skali. Koniec ten przyklejamy klejem szybkowiązącym do linijki. W pobliżu swobodnego końca gumki, np. w odległości 1 cm, zaznaczamy na niej cienkopisem poprzeczną kreskę. Im dłuższy odcinek gumki zastosujemy i im bardziej będzie ona rozciągliwa, tym bardziej czuły będzie nasz siłomierz. Musimy jednak pamiętać, że wtedy będzie miał on mniejszy zakres pomiarowy, gdyż po przyłożeniu większej siły kreska może wyjść poza koniec skali linijki. Ponadto bardziej rozciągliwa, a więc z reguły cieńsza, gumka może łatwiej ulec zerwaniu po przyłożeniu większej siły.

Kartonik napelnamy piaskiem i zamykamy taśmą klejącą lub plastikowym zamknięciem umieszczonym na kartoniku. Zamiast piaskiem, kartonik możemy napelnić ryżem lub kaszą, a jeżeli zamknięcie jest szczelne – wodą. Następnie owijamy wokół niego nitkę, prowadząc ją w połowie najmniejszych i średnich ścianek kartonika. Związujemy nitkę na supeł przy kartoniku, a końce nitki przywiązujemy do wolnego końca gumki siłomierza – tuż za kreską zaznaczoną na gumce.

Kartonik kładziemy na poziomej powierzchni stołu tak, żeby leżał na największej ścianie. Siłomierz ustawiamy poziomo i, ciągnąc za koniec linijki w miejscu przyklejenia gumki, próbujemy powoli wprawić kartonik w ruch, coraz mocniej pociągając za koniec siłomierza (rys. 2a). Kiedy kartonik ruszy, staramy się utrzymać jego stałą prędkość i odczytujemy, o ile centymetrów przesunęła się wzdłuż skali linijki kreska zaznaczona na gumce. Liczba ta jest równa wartości siły tarcia kartonika o powierzchnię stołu wyrażonej w umownych jednostkach. Zapisujemy ten wynik. Ponieważ w następnych doświadczeniach będziemy



Rys. 3. Układ do badania zależności siły tarcia od rodzaju trących się powierzchni; t – taśma klejąca, f – papier ścierny, pozostałe oznaczenia literowe takie same, jak w opisie rysunku 2.



Rys. 4. Układ do badania zależności siły tarcia od siły nacisku – oznaczenia literowe takie same, jak w opisie rysunku 2.

porównywali wskazania tego samego siłomierza lub obliczali stosunki wartości odczytanych z niego sił, wybór jednostki może być dowolny. Najprościej zatem wybrać jednostkę siły odpowiadającą wydłużeniu gumki siłomierza o jeden centymetr.

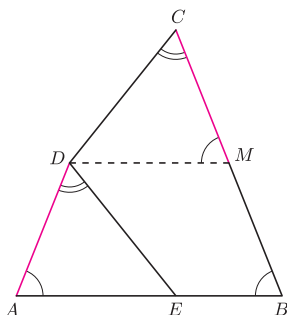
Następnie przecinamy i usuwamy poprzednią nitkę. Owijamy nową nitkę wokół kartonika, prowadząc ją w połowie jego największych oraz średnich ścianek. Zawiązujemy nitkę na supeł przy kartoniku i przywiązujemy jej końce do wolnego końca gumki siłomierza. Kartonik ustawiamy na stole na najmniejszej ścianie (rys. 2b). Jeżeli ma on u góry plastikowe zamknięcie, to stawiamy go na ścianie dolnej, czyli na dnie. Dalej postępujemy jak w poprzednim doświadczeniu. Znowu notujemy wynik. Jeszcze raz powtarzamy pierwsze doświadczenie, ale tym razem kartonik powinien leżeć na średniej ścianie (rys. 2c). W tym celu nitka powinna być owinięta wokół najmniejszych i największych ścianek. I tym razem zapisujemy wynik. Porównujemy wszystkie trzy wyniki. Okazuje się, że w granicach błęd pomiaru są one równe. W ten sposób wykryliśmy pierwszą właściwość tarcia, polegającą na tym, że wartość siły tarcia nie zależy od wielkości trących się powierzchni.

Powtórzmy po raz kolejny pierwsze doświadczenie, ale tym razem kartonik będziemy przesuwali po szorstkiej powierzchni arkusza papieru ściernego, przyklejonego na brzegach taśmą klejącą do blatu stołu (rys. 3). Jaką wartość ma w tym przypadku siła tarcia? Okazuje się, że jest ona znacznie większa niż zmierzona w poprzednich doświadczeniach. Ostatnie doświadczenie pozwoliło nam stwierdzić, że wartość siły tarcia zależy od rodzaju trących się powierzchni i jest ona większa w przypadku, gdy powierzchnie są bardziej chropowate. Jeżeli mamy kawałek szyby lub gładkiego kartonu, to możemy również po nich przesunąć kartonik i zmierzyć wartość siły tarcia dla powierzchni mniej chropowatych.

Jeszcze raz wykonajmy doświadczenie polegające na przesuwaniu kartonika leżącego na największej ścianie. Tym razem jednak położymy na nim drugi, taki sam kartonik wypełniony piaskiem lub wodą (rys. 4). Czy teraz wartość siły tarcia się zmieniła? Na dwóch kartonikach położymy jeszcze trzeci, taki sam, pełny kartonik. Wprawmy ten układ w ruch i zanotujmy wartość siły tarcia. Porównajmy ostatnie dwa wyniki z wynikiem otrzymanym podczas przesuwania tylko jednego kartonika. Okazuje się, że wartość siły tarcia dla układu dwóch kartoników jest dwa razy większa niż dla jednego, a dla trzech – trzykrotnie większa. Dwa kartoniki wywierają dwa razy większy nacisk na stół niż jeden, zaś dla trzech kartoników ten nacisk jest większy trzykrotnie. Stwierdziliśmy zatem kolejną właściwość tarcia – wartość siły tarcia jest wprost proporcjonalna do siły nacisku na trące się powierzchnie. Stała proporcjonalności w tej relacji nosi nazwę współczynnika tarcia, którego wyznaczaniem zajmiemy się w następnym odcinku.



Rozwiązanie zadania M 1277.
Oznaczmy przez M środek boku BC .



Wówczas z równości $\sphericalangle BAD = \sphericalangle ABM$ oraz $AD = BM$ wynika, że czworokąt $ABMD$ jest trapezem równoramiennym, a więc $AB \parallel DM$. Stąd

$$\sphericalangle DMC = \sphericalangle ABC = \sphericalangle EAD.$$

Zależność ta w połączeniu z równościami $MC = AD$ oraz $\sphericalangle MCD = \sphericalangle ADE$ dowodzi, że trójkąty DMC i EAD są przystające (cecha kbk). Wobec tego $CD = DE$.



Rozwiązanie zadania F 763.

Z prawa zachowania energii prędkość ciężarka A w chwili spadania ze stołu jest dana równaniem $2mv^2/2 = (2/3)mgl$. Siła odśrodkowa w tym momencie

$$\frac{mv^2}{l} = \frac{2}{3}mg$$

jest mniejsza od siły ciężkości mg i nic nie jest napięta. Od tej chwili ciężarek porusza się po paraboli, a jego położenie względem nieruchomego ciężarka jest dane współrzędnymi: $x = vt$ i $y = l - gt^2/2$. Nic napnie się w chwili t_0 , gdy $x_0^2 + y_0^2 = l^2$, czyli

$$t_0 = \sqrt{\frac{4l}{3g}} \quad \text{i} \quad y_0 = \frac{l}{3}.$$



Rozwiązanie zadania F 764.

Do chwili osiągnięcia przez kamyk najniższego punktu zagłębienia, cegła się nie porusza. Prędkość kamyka w tym punkcie wynosi $v = \sqrt{2g(h+r)}$. W chwili osiągnięcia punktu B , aby warunek maksymalnej wysokości był spełniony, pionowa składowa prędkości kamyka v_{pion} powinna być równa zero. Z zasady zachowania pędu i energii, w punkcie B mamy

$$(M+m)v_{\text{poz}} = m\sqrt{2g(h+r)},$$

$$mgr = \frac{(M+m)v_{\text{poz}}^2}{2}.$$

Stąd

$$h_{\text{max}} = rm/M = 4 \text{ cm}.$$